

Beschreibung

Verfahren zum Anordnen einer Leitungsstruktur auf einem Substrat und Substrat mit der Leitungsstruktur

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Anordnen einer Leitungsstruktur auf einem Substrat. Daneben wird ein Substrat mit einer Leitungsstruktur angegeben, die an einer Substratkontaktfläche des Substrats und an mindestens einer
10 weiteren Substratkontaktfläche des Substrats mit dem Substrat verbunden ist.

Die Leitungsstruktur ist beispielsweise eine elektrische Leitungsstruktur mit einer metallischen Leiterbahn, die mit
15 Hilfe eines Siebdruckverfahrens auf dem Substrat aufgebracht wird. Das Siebdruckverfahren eignet sich aber nicht zur beliebigen Miniaturisierung der Leiterbahn.

Aus P. M. Ajayan et al., Carbon Nanotubes, Topics Appl. Phys, 20 80 (2001) Seiten 391 bis 425, sind Kohlenstoff-Nanoröhren (Carbon Nano Tubes, CNTs) und deren Anwendung bekannt. Aus A. Hirsch, Angew. Chem., 114 (2002), Seiten 1933 bis 1939 gehen Kohlenstoff-Nanoröhren mit funktionalisierter Röhrenoberfläche hervor. Kohlenstoff-Nanoröhren haben einen
25 Röhrendurchmesser im Nanometerbereich. Eine Röhrenlänge der Kohlenstoff-Nanoröhren ist aus dem Mikrometer- bis Millimeterbereich. Diese Nanoröhren können sich durch eine hohe elektrische und/oder thermische Leitfähigkeit auszeichnen. Aufgrund der kleinen Röhrendurchmesser eignen
30 sich solche Nanoröhren, um kleinste Leitungsstrukturen auf dem Substrat herzustellen. Es kann eine hohe sehr Integrationsdichte auf der Substratoberfläche erzielt werden. Allerdings gibt es bis jetzt kein geeignetes Verfahren, kleinste Leitungsstrukturen mit Nanoröhren auf einem Substrat
35 derart herzustellen, dass das große Potential der Nanoröhren bezüglich der Miniaturisierung genutzt werden könnte.

Nanoröhren werden bisher überwiegend über einen CVD (Chemical Vapor Deposition)-Abscheideprozess bei einer Temperatur von über 600° C auf eine Substratoberfläche aufgebracht. Der CVD-Abscheideprozess ist zur lokalen Strukturierung auf einer Substratoberfläche geeignet, wobei jedoch verschiedene strukturelle und elektronische Modifikationen der Nanoröhren zugleich abgeschieden werden. Es werden beispielsweise halbleitende und metallisch-leitende Nanoröhren abgeschieden. Darüber hinaus werden in der Regel Nanoröhren mit unterschiedlichen Röhrenlängen abgeschieden. Vor allem ist keine laterale, sondern nur eine horizontale Abscheidung möglich. Bei der horizontalen Abscheidung werden die Nanoröhren nicht gerichtet mit einer Vorzugsrichtung auf die Substratoberfläche aufgebracht. Die Nanoröhren sind in der Ebene beliebig ausgerichtet. Voraussetzung für einen hohen Miniaturisierungsgrad ist aber die laterale Abscheidung, bei der die Nanoröhren gerichtet, also mit einer Vorzugsrichtung, auf der Substratoberfläche aufgetragen werden. Bei lateral abgeschiedenen Nanoröhren kommen zudem die herausragenden elektrischen und/oder thermischen Eigenschaften der Nanoröhren besonders zur Geltung.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Anordnen einer Leitungsstruktur auf einem Substrat anzugeben, das dazu geeignet ist, laterale Leitungsstrukturen von Nanoröhren auf der Substratoberfläche des Substrats zu erzielen.

Zur Lösung der Aufgabe wird ein Verfahren zum Anordnen einer Leitungsstruktur auf einem Substrat mit folgenden Verfahrensschritten angegeben: a) Herstellen einer trennbaren Verbindung zwischen mindestens einem Transferträger und der Leitungsstruktur, b) Zusammenbringen des Transferträgers mit der Leistungsstruktur und des Substrats, so dass eine Verbindung zwischen der Leitungsstruktur und dem Substrat hergestellt wird, die stärker ist als die trennbare Verbindung zwischen dem Transferträger und der

Leitungsstruktur, und c) Trennen der trennbaren Verbindung zwischen dem Transferträger und der Leitungsstruktur des Transferträgers, wobei die Verbindung zwischen der Leitungsstruktur und dem Substrat erhalten bleibt.

5

Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Substrat mit einer Leitungsstruktur angegeben, die an einer Substratkontaktfläche des Substrats und an mindestens einer weiteren Substratkontaktfläche des Substrats mit dem Substrat verbunden ist. Das Substrat ist dadurch gekennzeichnet, dass die Leitungsstruktur zwischen den beiden Substratkontaktflächen Nanoröhren aufweist, die von der Substratkontaktfläche zur weiteren Substratkontaktfläche ausgerichtet sind.

15

Das Verfahren zum Anordnen der Leitungsstruktur kann als Transferdruckverfahren bezeichnet werden. Mit Hilfe eines Transferträgers, der als Templat (Schablone) für die Leitungsstruktur dient, wird eine Leitungsstruktur auf das Substrat (Zielsubstrat) aufgebracht. Dazu wird zunächst auf dem Transferträger eine Leitungsstruktur erzeugt. Im Weiteren wird die erzeugte Leitungsstruktur in einem Druckverfahren beziehungsweise in einem druckähnlichen Verfahren von dem Transferträger auf das Substrat übertragen. Der Transferträger fungiert also nicht nur als Schablone, sondern auch als Stempel.

Das Verfahren kann zum Anordnen einer beliebigen Leitungsstruktur verwendet werden. Die Leitungsstruktur ist beispielsweise eine thermische und/oder elektrische Leitungsstruktur. Eine derartige Leitungsstruktur weist beispielsweise eine elektrische Leiterbahn mit einem Draht aus einem Metall auf. In einer besonderen Ausgestaltung wird eine Leitungsstruktur verwendet, die Nanoröhren aufweist. Mit dem Verfahren ist es möglich, die Nanoröhren der Leitungsstruktur ausgerichtet auf das Substrat aufzutragen. In einer besonderen Ausgestaltung wird daher eine

Leitungsstruktur verwendet, bei der die Nanoröhren in mindestens einem Abschnitt der Leitungsstruktur im Wesentlichen entlang einer Vorzugsrichtung ausgerichtet werden. Der Abschnitt stellt beispielsweise eine elektrisch und/oder thermisch leitende Verbindung zwischen zwei Substratkontaktflächen her. Innerhalb dieses Abschnitts sind die Nanoröhren nahezu parallel zueinander ausgerichtet. Geringe Abweichungen von bis zu 20° von der parallelen Ausrichtung sind dabei möglich. Die Leitungsstruktur ist durch die zueinander parallel ausgerichteten Nanoröhren lateral auf dem Substrat angeordnet. Durch diese Art der Anordnung werden die besonderen Eigenschaften der Nanoröhren, nämlich der kleine Röhrendurchmesser der Nanoröhren und die elektrische und/oder thermische Leitfähigkeit entlang der Ausdehnungsrichtung der Nanoröhren, nutzbar gemacht.

Für das Verfahren kommen beliebige Nanoröhren zum Einsatz. Vorzugsweise werden die Nanoröhren zumindest aus der Gruppe der Aluminiumnitrid-, Bornitrid- und/oder Kohlenstoff-Nanoröhren ausgewählt. Ein Grundgerüst der Nanoröhren ist aus genannten Materialien zusammengesetzt. Ein Röhrendurchmesser beträgt wenige Nanometer. Eine Röhrenlänge der Nanoröhren ist aus dem Bereich von 50 µm bis einschließlich 1000 µm ausgewählt. Insbesondere beträgt die Röhrenlänge der Nanoröhren 50 µm bis 200 µm.

Die Leitungsstruktur kann aus unterschiedlichen Nanoröhren aufgebaut sein. Insbesondere aber wird eine Leitungsstruktur verwendet, die von einer Art Nanoröhre gebildet wird. Eine Art Nanoröhre zeichnet durch eine bestimmte chemische Zusammensetzung des Grundgerüsts der Nanoröhren aus, sowie durch eine bestimmte Röhrenlänge, die innerhalb festgelegter Grenzen variieren kann, und durch bestimmte elektrische und/oder thermische Eigenschaften. So ist es möglich, zwischen zwei Substratkontaktflächen des Substrats nur halbleitende oder nur metallisch-leitende Nanoröhren anzuordnen. Die Länge der Nanoröhren ist dabei so gewählt,

dass die Substratkontaktflächen von den Nanoröhren kontaktiert werden.

- Für das Verfahren zum Anordnen der Leitungsstruktur auf einem Substrat werden insbesondere Nanoröhren verwendet, die mindestens eine funktionalisierte Stelle aufweisen. Vorzugsweise verfügt jede der Nanoröhren über viele funktionalisierte Stellen. An einer funktionalisierten Stelle ist eine Röhrenoberfläche der Nanoröhre verändert. Durch die Veränderung der Röhrenoberflächen wird insbesondere eine Löslichkeit der Nanoröhren in einem bestimmten Lösungsmittel beeinflusst. Dadurch ist es möglich, das Verfahren zum Anordnen der Leitungsstruktur mit Hilfe von Lösungen beziehungsweise mit Hilfe von Suspensionen durchzuführen.
- Beispielsweise werden die Nanoröhren mit polaren Gruppen funktionalisiert, die dazu führen, dass die Nanoröhren in einem polaren Lösungsmittel gelöst beziehungsweise suspendiert werden können. Die polare Gruppe ist beispielsweise eine Carboxylgruppe. Das polare Lösungsmittel ist beispielsweise Wasser. Durch die Funktionalisierung der Röhrenoberfläche können die Nanoröhren in Wasser gelöst werden. Denkbar ist auch die Funktionalisierung der Nanoröhren mit unpolaren Gruppen, die die Löslichkeit der Nanoröhren in unpolaren Lösungsmitteln ermöglichen.
- Die Funktionalisierung kann chemisch und/oder physikalisch erfolgen. Die chemische Funktionalisierung unterscheidet zwischen Defektfunktionalisierung und Seitenwandfunktionalisierung. Die Defektfunktionalisierung nutzt Defekte (Fehler) im Grundgerüst einer Nanoröhre aus. Die Nanoröhre ist beispielsweise eine Kohlenstoff-Nanoröhre, deren Grundgerüst aus Kohlenstoff-Sechsringen aufgebaut ist. Diese Kohlenstoff-Nanoröhre kann Defekte in Form von Kohlenstoff-Fünfringen oder Kohlenstoff-Siebenringen aufweisen. Derartige Defekte können durch eine chemische Substanz leichter angegriffen werden als das regelmäßige Grundgerüst der Nanoröhre aus den Kohlenstoff-Sechsringen.

Gleiches gilt für ein offenes Röhrenende der Kohlenstoff-Nanoröhre. Bei der Funktionalisierung reagiert eine angreifende chemische Gruppe deshalb an einem Defekt oder an einem Röhrenende mit den Kohlenstoffatomen unter Ausbildung
5 einer festen chemischen Bindung. Wie bei der Defektfunktionalisierung werden bei der Seitenwandfunktionalisierung zusätzliche Moleküle beziehungsweise Molekülgruppen direkt auf der Röhrenoberfläche einer Nanoröhre angebracht. Im Gegensatz zur
10 Defektfunktionalisierung werden aber nicht Defekte des Grundgerüsts der Nanoröhre, sondern regelmäßige Bereiche des Grundgerüsts der Nanoröhre modifiziert. Im Fall der Kohlenstoff-Nanoröhre bedeutet das, dass Kohlenstoff-Sechsringe funktionalisiert werden. Zur
15 Seitenwandfunktionalisierung werden besonders reaktive chemische Substanzen eingesetzt, die die gesamte Nanoröhre in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen mit funktionalisierenden Gruppen überziehen. Die Seitenwandfunktionalisierung hat unter anderem einen
20 erheblichen Einfluss auf die Löslichkeit der Nanoröhren in einem bestimmten Lösungsmittel.

Bei der physikalischen Funktionalisierung erhalten die Nanoröhren eine zusätzliche Hülle, mit der sie lose ohne
25 Ausbildung von chemischen Bindungen verbunden sind. Es kommt zu einer Aggregatbildung zwischen Nanoröhre und jeweiliger Hülle. Die Hülle besteht beispielsweise aus mindestens einem lang gestrecktem Polymer (Makromolekül), das eine Nanoröhre "umschlingt". Einen Sonderfall dieser Art der
30 Funktionalisierung stellt die so genannte " π -Stapelung" dar, die auch als "orientierte Adsorption" bezeichnet wird. Dabei lagert sich das umhüllende Polymer nur über bestimmte Stellen an die jeweilige Nanoröhre an, während andere Bereiche des Polymers frei in den Raum ragen.

35

Die Leitungsstruktur kann direkt auf einem Transferträgersubstrat angeordnet werden. Dazu verfügt das

Transferträgersubstrat über Transferträgerkontaktflächen, an die die Leitungsstruktur gebunden wird. Es findet ein Immobilisieren (Fixieren) der Leitungsstruktur statt. Das Immobilisieren kann dabei durch kovalente Bindungen, durch Affinitätswechselwirkungen und durch hydrophile oder hydrophobe Wechselwirkungen erfolgen. Das Immobilisieren erfolgt reversibel. Das bedeutet, dass die Leitungsstruktur vom Transferträgersubstrat wieder entfernt werden kann. Die Verbindung zwischen dem Transferträger und der Leitungsstruktur wird wieder getrennt. Das Trennen dieser Verbindung erfolgt beispielsweise durch Temperaturerhöhung oder durch Einwirken einer reaktiven Substanz.

Zum Immobilisieren wird beispielsweise ein mit einer Goldschicht funktionalisierter Oberflächenabschnitt des Transferträgersubstrats verwendet. Dieser Oberflächenabschnitt bildet die Transferträgerkontaktfläche. Wenn die Nanoröhren mit chemischen Gruppen funktionalisiert werden, die beispielsweise mindestens ein Schwefelatom aufweisen, können die Nanoröhren an die Goldschicht gebunden werden. Es kommt zur Ausbildung von Gold-Schwefel-Bindungen. Die chemische Gruppe mit mindestens einem Schwefelatom ist beispielsweise eine Thiol- oder eine Sulfidgruppe. Zum Immobilisieren können neben Gold auch andere Schichtmaterialien zum Einsatz kommen. Beispielsweise wird ein Oberflächenabschnitt verwendet, der mit mindestens einem aus der Gruppe Aluminium, Kupfer, Nickel und/oder Titan ausgewählten Metall beschichtet ist.

Gemäß einer besonderen Ausgestaltung wird ein Transferträger mit mindestens einer Transferträgersubstanz verwendet, die mindestens eine Transferträgerkontaktstelle zum Herstellen der trennbaren Verbindung zwischen dem Transferträger und der Leitungsstruktur aufweist. Der Transferträger setzt sich aus der Transferträgersubstanz und einem Transferträgersubstrat zusammen. Transferträgersubstanz und Transferträgersubstrat können miteinander verbunden und voneinander getrennt werden.

Die Transferträgersubstanz hat die Aufgabe, eine funktionalisierte Nanoröhre zu erkennen und an sich zu binden. Eine solche Transferträgersubstanz ist beispielsweise Bestandteil eines auf einem Transferträgersubstrat
5 aufgebracht, zweidimensionalen (schichtförmigen) chemischen oder biologischen Erkennungssystems. Das biologische Erkennungssystem weist beispielsweise Antikörper oder Nukleinsäuren auf. Das chemische Erkennungssystem ist beispielsweise ein Hydrogel, das aus einem Polymer wie
10 Polyarcylamid aufgebaut ist. Die Antikörper, die Nukleinsäuren und das Hydrogel stellen jeweils die Transferträgersubstanz dar.

Vorzugsweise wird eine Transferträgersubstanz verwendet, die
15 zum Erzeugen der Transferträgerkontaktstelle an mindestens einer Stelle der Transferträgersubstanz funktionalisiert ist. Die Transferträgersubstanz ist dabei derart funktionalisiert, dass entsprechend funktionalisierte Nanoröhren nach dem "Schlüssel-Schloss-Prinzip" erkannt und gebunden werden
20 können.

Die Transferträgersubstanz kann in einem ersten Schritt mit der Leitungsstruktur verknüpft werden und in einem darauf folgenden Schritt an das Transferträgersubstrat gebunden
25 werden. Beispielsweise werden die Transfersubstanzen und funktionalisierte Nanoröhren in einem wässrigen Lösungsmittel zusammengebracht. In dem Lösungsmittel verbinden sich Transferträgersubstanzen und Nanoröhren. Es bildet sich jeweils eine trennbare Verbindung zwischen
30 Transferträgersubstanz und Nanoröhre. Im weiteren Verlauf wird die Lösung beziehungsweise die Suspension an einem Transferträgersubstrat vorbeigeleitet. Die Transferträgersubstanz verfügt über weitere, geeignet funktionalisierte Stellen, so dass die Transferträgersubstanz
35 mit Nanoröhre an das Transferträgersubstrat gebunden wird.

Denkbar ist auch, dass die Transferträgersubstanz zunächst an das Transferträgersubstrat gebunden und anschließend mit Nanoröhren der Leitungsstruktur verbunden wird.

- Beispielsweise wird in einem ersten Schritt eine Lösung der Transferträgersubstanz an den Transferträgersubstrat vorbeigeleitet. Es kommt zur Anbindung der Transferträgersubstanz. In einem nachfolgenden Schritt wird eine Lösung mit den Nanoröhren an dem Transferträgersubstrat vorbeigeleitet. Es kommt zur Anbindung der Nanoröhren an die fixierte Transferträgersubstanz. Mischformen der Reihenfolge der Anbindung von Transferträgersubstrat, Transferträgersubstanz und Nanoröhren der Leitungsstruktur sind ebenfalls denkbar.
- Zur Funktionalisierung der Transferträgersubstanz und/oder der Nanoröhren werden beispielsweise Gruppen mit mindestens einer Lewisbase an die Transferträgersubstanz beziehungsweise an die Nanoröhren gebunden. Eine Lewisbase verfügt über ein freies Elektronenpaar. In einer besonderen Ausgestaltung wird eine funktionalisierte Stelle der Transferträgersubstanz verwendet, die mindestens ein Schwefelatom aufweist. Das Schwefelatom, das die Lewisbase darstellt, wird beispielsweise von einer Thiol- oder Sulfidgruppe bereitgestellt. Thiole oder Sulfide können sehr gut an Oberflächen aus Gold anbinden. Denkbar ist auch, dass mehrere Lewisbasen verwendet werden. Beispielsweise wird die Funktionalisierung mit Hilfe von Oligo-Nukleotiden (DNA-Oligos) aus mehreren Nukleotid-Einheiten durchgeführt. Die Nukleotid-Einheiten verfügen über mehrere funktionelle Gruppen. Diese Gruppen sind Lewisbasen, beispielsweise primäre Amine, und Lewisbasen, beispielsweise aromatische Stickstoff-Heterocyclen. Diese Lewisbasen und Lewisbasen eignen sich beispielsweise zur Bildung von Wasserstoffbrückenbindungen.

In einer besonderen Ausgestaltung wird als Transferträgersubstanz ein Makromolekül verwendet. Ein

Makromolekül (makromolekularer Stoff) besteht aus mehreren hundert kovalent gebundenen Atomen. Beispielsweise ist das Makromolekül ein künstliches oder natürliches Polymer (Biopolymer). In einer besonderen Ausgestaltung wird

5 mindestens ein aus der Gruppe Desoxyribonukleinsäure und/oder Protein ausgewähltes Makromolekül verwendet. Eine Desoxyribonukleinsäure (Deoxyribonucleic Acid, DNA) eignet sich besonders als Transferträgersubstanz, da sie gezielt an bestimmten Stellen funktionalisiert werden kann. Mit Hilfe

10 der gezielten Funktionalisierung der Transferträgersubstanz ist ein gerichtetes Verbinden der Leitungsstruktur mit funktionalisierten Nanoröhren auf dem Trägersubstrat und damit auch ein gerichtetes Anordnen der Leitungsstruktur mit den Nanoröhren auf dem Zielsubstrat möglich.

15 Vorteilhaft wird zum gerichteten Anordnen der Leitungsstruktur mit den Nanoröhren ein längs gestrecktes Makromolekül verwendet. Das längs gestreckte Makromolekül zeichnet sich durch eine Längsausbreitung aus. Dabei kann das

20 Makromolekül von einer eindimensionalen, mehr oder weniger geraden Kette gebildet sein. Das längs gestreckte Makromolekül kann auch als Helix ausgebildet sein.

Denkbar ist auch, dass zum gerichteten Anordnen der

25 Leitungsstruktur mit den Nanoröhren kein gestrecktes, sondern ein gefaltetes Makromolekül verwendet wird. Das gefaltete Makromolekül bildet beispielsweise ein Knäuel. In einer besonderen Ausgestaltung wird ein gefaltetes Makromolekül verwendet, das vor dem Zusammenbringen mit der

30 Leitungsstruktur gestreckt wird. Das Strecken erfolgt vor oder während der Bildung der trennbaren Verbindung zwischen Makromolekül und Nanoröhre.

In einer besonderen Ausgestaltung wird das gefaltete

35 Makromolekül mit Hilfe eines strömenden Fluids gestreckt. Dies gelingt beispielsweise dadurch, dass das gefaltete Makromolekül an einer Stelle des Transferträgersubstrats

andockt. Durch das vorbeiströmende Fluid, das ein Gas oder eine Flüssigkeit sein kann, kommt es zur Entfaltung des Makromoleküls. Das Makromolekül wird entknävelt beziehungsweise gestreckt. Eine Flussgeschwindigkeit des Fluids ist dabei so gewählt, dass die bestehende Verbindung zwischen Makromolekül und Transferträgersubstrat bestehen bleibt. Dazu ist eine Flussgeschwindigkeit vorteilhaft aus dem Bereich von 0,1 µl/min bis 500 µl/min ausgewählt. Pro Minute wird das entsprechende Volumen des Fluids direkt am Transferträgersubstrat vorbeigeleitet. Das auf diese Weise gestreckte Makromolekül kann nun direkt an eine weitere Stelle des Transferträgersubstrats andocken, wobei der gestreckte Zustand der des Makromoleküls durch die Wechselwirkung mit dem Transferträgersubstrat "festgezurr" wird. Erst danach findet das Herstellen der trennbaren Verbindung zwischen dem Makromolekül und einer Nanoröhre statt. Denkbar ist auch, dass vor dem Andocken des gestreckten Makromoleküls an die weitere Stelle des Transferträgersubstrats eine Nanoröhre mit dem gestreckten Makromolekül verbunden wird. In diesem Fall wird der gestreckte Zustand des Makromoleküls durch die Wechselwirkungen mit einer Nanoröhre "festgezurr".

Nach dem Verbinden des Transferträgersubstrats und der Leitungsstruktur mit Nanoröhren wird in einem Transferdruckverfahren die Leitungsstruktur mit den Nanoröhren vom Transferträger auf das Zielsubstrat aufgedruckt. Dazu werden der Transferträger und das Zielsubstrat so nahe zusammengebracht, dass aufgrund von chemischen und/oder physikalischen Wechselwirkungen die Verbindung zwischen der Leitungsstruktur mit den Nanoröhren und der Substratoberfläche des Substrats erzeugt wird. Zum Verbinden wird ein Substrat mit mindestens einer Substratkontaktfläche zum Herstellen der Verbindung zwischen der Leitungsstruktur und dem Substrat verwendet. Vorzugsweise wird vor dem Zusammenbringen der Leitungsstruktur und dem Substrat mindestens ein Abschnitt der Substratoberfläche zum

Herstellen der Substratkontaktfläche funktionalisiert.
Beispielsweise sind auf der Substratoberfläche Elektroden
aufgebracht. Mit Hilfe der Leitungsstrukturen werden die
Elektroden elektrisch leitend verbunden. Insbesondere wird
5 zum Herstellen der Substratkontaktfläche auf dem Abschnitt
der Substratoberfläche Gold aufgetragen. Die Elektroden der
Substratoberfläche sind aus Gold. Denkbar ist auch, dass die
Elektroden nicht ganz aus Gold sind, sondern nur über eine
Haftvermittlungsschicht aus Gold aufweisen. Andere
10 Beschichtungen aus elektrisch leitenden Metallen wie
Aluminium, Kupfer, Nickel und Titan können auch eingesetzt
werden. Denkbar ist auch eine Haftvermittlungsschicht aus
einem Leitlebstoff, die auf der Substratoberfläche
beziehungsweise auf einer Elektrode des Substrats aufgetragen
15 wird.

Generell kann mit einer oder mehreren
Haftvermittlungsschichten das Verfahren gezielt gesteuert
werden. Daher wird in einer besonderen Ausgestaltung zum
20 Beeinflussen einer Stärke der trennbaren Verbindung zwischen
dem Transferträger und der Leitungsstruktur und/oder einer
Stärke der Verbindung zwischen der Leitungsstruktur und dem
Substrat eine Haftvermittlungsschicht verwendet. Mit Hilfe
einer Haftvermittlungsschicht kann die Stärke der trennbaren
25 Verbindung der Leitungsstruktur an den Transferträger
verringert werden. Dagegen wird mit Hilfe eine geeigneten
Haftvermittlungsschicht die Stärke der Verbindung zwischen
Leitungsstruktur und Substrat erhöht.

30 Das beschriebene Verfahren kann zum Anordnen einer
Leitungsstruktur auf einem beliebigen Zielsubstrat benutzt
werden. Ebenso kann ein Transferträger mit einem beliebigen
Transferträgersubstrat verwendet werden. Das jeweilige
Substrat ist beispielsweise ein Substrat mit einem
35 keramischen Werkstoff. In einer besonderen Ausgestaltung
weist das Substrat zumindest einen aus der Gruppe
Halbleiterwerkstoff und/oder Kunststoffwerkstoff ausgewählten

Substratwerkstoff auf. Es wird ein Halbleitersubstrat und/oder Kunststoffsubstrat verwendet. Gerade solche Substrate sind hitzeempfindlich und können daher bei der bekannten Abscheidung von Nanoröhren mit Hilfe eines CVD-Abscheideprozesses nicht eingesetzt werden. Das beschriebene Transferdruckverfahren kann dagegen bei einer Temperatur durchgeführt werden, die deutlich niedriger ist als die bei CVD-Abscheideprozessen üblichen Temperaturen von über 600° C. Somit kommen auch temperaturempfindliche Substratwerkstoffe in Frage.

Als Transferträgersubstrat und als Zielsubstrat kann auch ein beliebig geformtes Substrat verwendet werden. Das Substrat muss keinen ebenen Oberflächenabschnitt aufweisen, auf dem die Leitungsstruktur angeordnet wird. Darüber hinaus kann auch ein Substrat mit einem elastischen Substratwerkstoff verwendet werden. Ein derartiges Substrat kann elastisch verformt werden.

Zusammenfassend ergeben sich mit der Erfindung folgende wesentlichen Vorteile:

- Es gelingt, eine laterale Strukturierung von Nanoröhren bei relativ niedrigen Temperaturen ($T < 600^{\circ} \text{C}$).
- Es können definierte Nanoröhren bzw. Modifikationen der Nanoröhren verarbeitet werden.
- Aufgrund der gezielten Verarbeitung von bestimmten Modifikationen können die elektrischen Eigenschaften der Nanoröhren optimal ausgenutzt werden.
- Das Verfahren ist kostengünstig und kann mit einem geringen Aufwand durchgeführt werden.

Anhand mehrerer Figuren wird die Erfindung im Folgenden näher beschrieben. Die Figuren sind schematisch und stellen keine maßstabsgetreuen Abbildungen dar.

- 5 Figur 1 zeigt ein Substrat mit Leitungsstruktur in einem seitlichen Querschnitt.

Figur 2 zeigt einen Ausschnitt einer Nanoröhre von der Seite.

- 10 Figur 3 zeigt ein Verfahren zum Anordnen der Leitungsstruktur auf dem Substrat.

- Figur 4 zeigt ein Verfahren zum Herstellen eines Transferträgersubstrats, das zum Anordnen der
15 Leitungsstruktur auf einem Substrat eingesetzt werden kann.

- Auf dem Substrat 1 befindet sich eine Leitungsstruktur 2 (Figur 1). Die Leitungsstruktur 2 ist über eine
20 Substratkontaktfläche 10 und eine weitere Substratkontaktfläche 11 mit dem Substrat 1 verbunden. Die Substratkontaktflächen 10 und 11 werden von Elektroden 12 und 13 aus Gold gebildet.

- 25 Das Substratmaterial des Substrats 1 ist ein Kunststoff. In einer dazu alternativen Ausführungsform ist das Substratmaterial des Substrats 1 ein Halbleitermaterial. Das Halbleitermaterial ist Silizium.

- 30 Die Leitungsstruktur 2 stellt eine elektrisch leitende Verbindung zwischen den Substratkontaktflächen 10 und 11 des Substrats 1 her. Dazu weist die Leitungsstruktur 2 zwischen den beiden Substratkontaktflächen 10 und 11 Nanoröhren 20 auf. Die Nanoröhren 20 sind von einer der
35 Substratkontaktflächen 10, 11 zur anderen Substratkontaktfläche 11, 10 ausgerichtet. Die Nanoröhren 20 weisen eine Vorzugsrichtung 22 auf. Dies bedeutet, dass die

Nanoröhren 20 lateral zur Substratoberfläche 14 mit der Vorzugsrichtung 22 ausgerichtet sind.

In einer ersten Ausführungsform sind die Nanoröhren 20 von einer Art Nanoröhre gebildet. Dies bedeutet, dass die Nanoröhren 20 aus einem einzigen Röhrenmaterial bestehen. Das Röhrenmaterial ist Kohlenstoff. Die Nanoröhren 20 sind Kohlenstoff-Nanoröhren. Die Kohlenstoff-Nanoröhren weisen die gleiche Röhrenlänge 23 auf (vgl. Figur 2). Gleiches gilt für den Röhrendurchmesser 21 der Nanoröhren 20.

Darüber hinaus zeichnen sich die Nanoröhren 20 der Leitungsstruktur 2 auch durch im Wesentlichen gleiche physikalische Eigenschaften aus. Die Nanoröhren 20 der Leitungsstruktur 2 sind im Wesentlichen metallisch-leitend. In einer dazu alternativen Ausführungsform sind die Nanoröhren 20 im Wesentlichen halbleitend.

In einer weiteren Ausführungsform wird die Leitungsstruktur 2 durch verschiedene Arten von Nanoröhren 20 gebildet. Die Nanoröhren 20 zeichnen sich durch unterschiedliche chemische und physikalische Eigenschaften aus.

In einer weiteren Ausführungsform zeichnen sich die Nanoröhren 20 durch unterschiedliche Röhrenlängen 23 aus. Die Nanoröhren 20 sind unterschiedlich lang.

Zum Anordnen der Leitungsstruktur auf dem Substrat wird wie folgt vorgegangen (vgl. Figur 3): In einem ersten Schritt wird eine trennbare Verbindung 4 zwischen einem Transferträger 3 und der Leitungsstruktur 2 hergestellt. Dazu verfügt der Transferträger 3 über ein Transferträgersubstrat 34 und eine Transferträgersubstanz 33. Die Transferträgersubstanz 33 ist ein Makromolekül in Form einer Desoxyribonukleinsäure. Die Transferträgersubstanz 33 verfügt über eine (nicht dargestellte) Transferträgerkontaktstelle. Die Transferträgerkontaktstelle ist eine funktionalisierte

Stelle des Makromoleküls 33. Die funktionalisierte Stelle des Makromoleküls 33 verfügt über eine funktionelle chemische Gruppe mit einem Schwefelatom. Das Schwefelatom fungiert als Lewisbase und wird von einer Thiolgruppe gebildet. Die

5 Transferträgersubstanz 33 ist mit dem Transferträgersubstrat 34 verbunden. Dazu verfügt das Transferträgersubstrat 34 über Transferträgerkontaktflächen 31. Die Transferträgerkontaktflächen 31 werden von einer Haftvermittlungsschicht 35 des Transferträgersubstrats 34 aus

10 Gold gebildet. Das Transferträgersubstrat 34 ist zur Bildung der Transferträgerkontaktflächen 31 funktionalisiert. Gleichzeitig verfügt das Makromolekül 33 über eine funktionalisierte Stelle zum Verbinden des Makromoleküls 33 mit dem Transferträgersubstrat 34.

15 Das Makromolekül 33 ist zunächst ein Knäuel. Dieses Knäuel wird nach dem Verbinden an einer Transferträgerkontaktfläche 31 mit dem Transferträgersubstrat 34 in der Strömung eines Fluids gestreckt. In diesem Fluid befinden sich

20 funktionalisierte Nanoröhren 20. Die Nanoröhren 20 weisen eine Röhrenoberfläche 24 auf, an die eine chemische Gruppe gebunden ist. Diese funktionalisierten Nanoröhren 20 werden durch die Strömung an dem gestreckten Makromolekül 33 vorbeigeleitet. Die Nanoröhren 20 weisen funktionalisierte

25 Stellen auf, die dazu geeignet sind, mit funktionalisierten Stellen des Makromoleküls 33 Bindungen einzugehen. Makromoleküle 33 und Nanoröhren 20 werden miteinander verbunden. Diese Bindungen und die Bindungen der Makromoleküle 33 zum Transferträgersubstrat 34 sind trennbar.

30 Im nächsten Schritt wird der Transferträger 3, der aus dem Transferträgerkörper 34 und dem Makromolekül 33 besteht und der mit der Leitungsstruktur 2 trennbar verbunden ist, mit dem Substrat 1 zusammengebracht. Der Transferträger 3 und die

35 Substratoberfläche 14 des Substrats 1 werden dabei so nahe zusammengebracht, dass die Verbindung 5 zwischen der Leitungsstruktur 2 und den Substratkontaktflächen 10, 11 des

Substrats 1 entstehen kann. Dabei entsteht eine stärkere Verbindung 5 als die trennbare Verbindung 4 zwischen dem Transferträger 3 und der Leitungsstruktur 2. Die trennbare Verbindung 4 zwischen Transferträger 3 und Leitungsstruktur 2 wird gelöst. Es verbleibt die Leitungsstruktur 2 auf dem Substrat 1.

In einer ersten Ausführungsform wird die trennbare Verbindung 4 zwischen Transferträger 3 und Leitungsstruktur 2 von der Transferträgersubstanz 33 und den Nanoröhren 20 gebildet. Nach dem Trennen der Verbindung 4 verbleibt nur die Leitungsstruktur 2 mit den Nanoröhren 20 auf dem Substrat 1. In einer weiteren Ausführungsform wird die trennbare Verbindung 4 von der Transferträgersubstanz 33 und dem Transferträgersubstrat 34 gebildet. Nach dem Transferdruck verbleibt die Transferträgersubstanz 33 zusammen mit der Leitungsstruktur 2 auf dem Substrat 1.

Als Transferträgerkörper 34 kann ein vorgefertigtes Substrat verwendet werden. In Figur 4 ist aufgezeigt, wie das Transferträgersubstrat 34 über ein Hilfssubstrat 40 hergestellt werden kann. Dabei wird eine Struktur 41 des Hilfssubstrats 40 abgeformt. Zum Abformen wird ein flüssiges, aushärtbares Polymer verwendet. Nach dem Aushärten des Polymers werden das Hilfssubstrat 40 und das ausgehärtete Polymer voneinander getrennt. Das ausgehärtete Polymer bildet das Transferträgersubstrat 34, die auch als Masterstruktur bezeichnet werden kann. Zum Herstellen der Transferträgerkontaktflächen 31 werden die Haftvermittlungsschichten 35 aus Gold aufgetragen. Das auf diese Weise hergestellte Transferträgersubstrat 34 wird zum Anordnen der Leitungsstruktur 2 auf dem Substrat 1 eingesetzt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Anordnen einer Leitungsstruktur (2) auf einem Substrat (1) mit folgenden Verfahrensschritten:
 - 5 a) Herstellen einer trennbaren Verbindung (4) zwischen mindestens einem Transferträger (3) und der Leitungsstruktur (2),
 - b) Zusammenbringen des Transferträgers (3) mit der Leitungsstruktur (2) und des Substrats (1), so dass eine
10 Verbindung (5) zwischen der Leitungsstruktur (2) und dem Substrat (1) hergestellt wird, die stärker ist als die trennbare Verbindung (4) zwischen dem Transferträger (3) und der Leitungsstruktur (2), und
 - c) Trennen der trennbaren Verbindung (4) zwischen dem
15 Transferträger (3) und der Leitungsstruktur (2) des Transferträgers (3), wobei die Verbindung (5) zwischen der Leitungsstruktur (2) und dem Substrat (1) erhalten bleibt.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine Leitungsstruktur (2) verwendet wird, die Nanoröhren (20) aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei eine Leitungsstruktur (2) verwendet wird, bei der die Nanoröhren (20) in
25 mindestens einem Abschnitt der Leitungsstruktur (2) im Wesentlichen entlang einer Vorzugsrichtung (22) ausgerichtet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei die Nanoröhren
30 (20) zumindest aus der Gruppe der Aluminiumnitrid-, Bornitrid- und/oder Kohlenstoff-Nanoröhren ausgewählt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei eine
35 Leitungsstruktur (2) verwendet wird, die von einer Art Nanoröhre gebildet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei Nanoröhren (20) verwendet werden, die mindestens eine funktionalisierte Stelle aufweisen.
- 5 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei ein Transferträger (3) mit mindestens einer Transferträgersubstanz (33) verwendet wird, die mindestens eine Transferträgerkontaktstelle zum Herstellen der trennbaren Verbindung (4) zwischen dem
10 Transferträger (3) und der Leitungsstruktur (2) aufweist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei eine Transferträgersubstanz (33) verwendet wird, die zum
15 Erzeugen der Transferträgerkontaktstelle an einer Stelle der Transferträgersubstanz (33) funktionalisiert ist.
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei eine funktionalisierte Stelle der Transferträgersubstanz (33) verwendet wird,
20 die mindestens ein Schwefelatom aufweist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei als Transferträgersubstanz (33) ein Makromolekül verwendet wird.
25
11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei mindestens ein aus der Gruppe Desoxyribonukleinsäure und/oder Protein ausgewähltes Makromolekül wird.
- 30 12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, wobei ein längs gestrecktes Makromolekül verwendet wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei ein gefaltetes Makromolekül verwendet wird, das vor dem
35 Zusammenbringen mit der Leitungsstruktur gestreckt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das gefaltete Makromolekül mit Hilfe eines strömenden Fluids gestreckt wird.
- 5 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei ein Substrat (1) mit mindestens einer Substratkontaktfläche (10, 11) zum Herstellen der Verbindung zwischen der Leitungsstruktur (2) und dem Substrat (1) verwendet wird.
- 10 16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei vor dem Zusammenbringen des Transferträgers (3) mit der Leitungsstruktur (2) und des Substrats (1) mindestens ein Abschnitt der Substratoberfläche (14) zum Herstellen der Substratkontaktfläche (10, 11) funktionalisiert wird.
- 15 17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei zum Herstellen der Substratkontaktfläche (10, 11) auf dem Abschnitt der Substratoberfläche (14) Gold aufgetragen wird.
- 20 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, wobei zum Beeinflussen einer Festigkeit der trennbaren Verbindung (4) zwischen dem Transferträger (3) und der Leitungsstruktur (2) und oder der Verbindung (5) zwischen der Leitungsstruktur (2) und dem Substrat (1) eine Haftvermittlungsschicht (35) verwendet wird.
- 25 19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, wobei mindestens ein aus der Gruppe Halbleitersubstrat und/oder Kunststoffsubstrat ausgewähltes Substrat (1) verwendet wird.
- 30 20. Substrat (1) mit einer Leitungsstruktur (2), die an einer Substratkontaktfläche (10, 11) des Substrats (1) und an mindestens einer weiteren Substratkontaktfläche
- 35

- (11, 10) des Substrats (1) mit dem Substrat (1) verbunden ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Leitungsstruktur (2) zwischen den beiden
5 Substratkontaktflächen (10, 11) Nanoröhren (20)
aufweist, die von der Substratkontaktfläche (10, 11) zur
weiteren Substratkontaktfläche (11, 10) ausgerichtet
sind.
- 10 21. Substrat nach Anspruch 20, wobei die Leitungsstruktur
(2) eine elektrische Leitungsstruktur ist.
22. Substrat nach Anspruch 20 oder 21, wobei die Nanoröhren
(20) zumindest aus der Gruppe der Aluminiumnitrid-,
15 Bornitrid- und/oder Kohlenstoff-Nanoröhren ausgewählt
sind.
23. Substrat nach einem der Ansprüche 20 bis 22, wobei die
Nanoröhren (20) von einer Art Nanoröhre sind.
- 20 24. Substrat nach einem der Ansprüche 20 bis 23, wobei das
Substrat (1) einen aus der Gruppe Halbleiterwerkstoff
und/oder Kunststoffwerkstoff ausgewählten
Substratwerkstoff aufweist.